

ダイカストの湯道・鋳型における流れ予測と型設計への応用

著者	塚本 武志
号	2006
発行年	1996
URL	http://hdl.handle.net/10097/7279

つかもと たけし

氏 名 塚本 武志

授 与 学 位 博士 (工学)

学位授与年月日 平成9年3月25日

学位授与の根拠法規 学位規則第4条第1項

研究科、専攻の名称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 材料加工学専攻

学 位 論 文 題 目 ダイカストの湯道・鋳型における流れ予測と型設計への応用

指 導 教 官 東北大学教授 新山 英輔

論文審査委員 主査 東北大学教授 新山 英輔 東北大学教授 菊地 淳

東北大学教授 八木 順一郎 東北大学助教授 安斎 浩一

論文内容要旨

ダイカスト (Pressure Die Casting) 法は溶融金属を高精度な金型内に高速注入し加圧することによって急速凝固させる鋳造法であり、寸法精度、表面品質、生産性に優れるという長所を有する。その一方で型内の流れが製品品質に及ぼす影響は大きく、湯回り不良、湯境、湯じわといった鋳造欠陥を抑制するためには充填挙動の最適化が不可欠である。

しかしながら溶湯の流れ (湯流れ) を考慮した型設計の最適化方法は十分に確立されておらず、いまだに経験則によるところが大きい。より高品質なダイカスト製品を効率よく生産するためには型内流れの予測、最適化方法の向上が望まれる。

本研究においては、水モデル、湯流れ解析を用いた湯道における流れの予測とその設計基準の検討、鋳型内流れ予測の精度、実用性向上を目的とした新たな流れ解析法の開発を行っている。これらより型内における流れの総合的な最適化が期待できる。本論文は以上の成果をまとめたものであり、全6章より構成される。以下に各章の概要を述べる。

第1章 序論

本章ではダイカスト法の特徴、ダイカスト製品品質への要求とその背景、湯流れ最適化技術の役割について述べ、流れ予測および最適化手法向上の意義とその指針を明らかにしている。また品質向上を目的としたダイカスト鋳造機ならびに鋳造方法改良の経緯とその現状を概説している。くわえてこれまで行われてきた湯流れ最適化に関する研究の歴史、現在の課題点、今後の展望について述べ、本研究の役割を明確にしている。

第2章 ダイカストランナ部における溶湯の分配とその最適化

本章では、一度に複数の製品を鋳造する多数個取りダイカスト、とくに鋳込口に接続されたメインランナから複数の2次的なランナを経て各キャビティに溶湯が分配されるランナ間接分岐型方案をモデルとして、湯流れ解析、水モデル実験および理論解析から、ランナ分岐に伴う溶湯の分配挙動ならびに各製品部キャビティへの溶湯の均一分配を満足するランナ設計について検討している。

理想的な均一分配をすべての製品キャビティに同時に溶湯が充填開始しかつ終了することであると定義すると、6個取りダイカストをモデルとした検討から溶湯の分配に関し次のような結論が得られている。

溶湯分配は充填開始後、非定常的な挙動を示し、ランナ部充満後から定常的分配へと推移する。ランナに絞り（断面積の減少）を設けると各キャビティ(上部、中央部、下部)の充填開始時期に差が生じやすい。定常的な分配期における各キャビティへの流量は各ゲート断面積とメインランナ断面積の関係で決まる。またその流量はFig.1に示したように、ベルヌイの式を利用して求められるランナ・ゲート断面積条件(Fig.2参照)により制御することが可能である。本研究からは各ゲート断面積の総和/メインランナ断面積の比を0.5以下とすることで擬似的定常分配期における溶湯分配をほぼ均一にすることが可能であると判断できる。

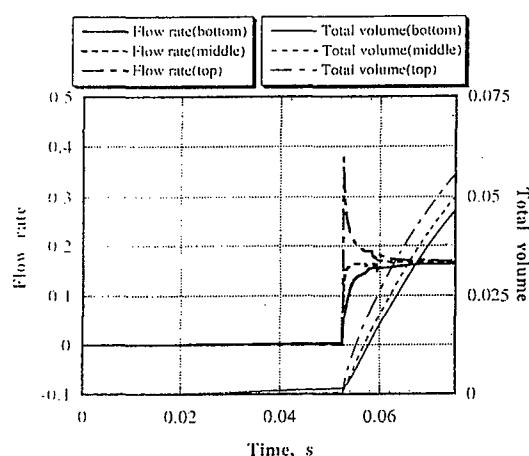


Fig.1 均一分配条件を適用した流れ解析から求められた溶湯流量の変化

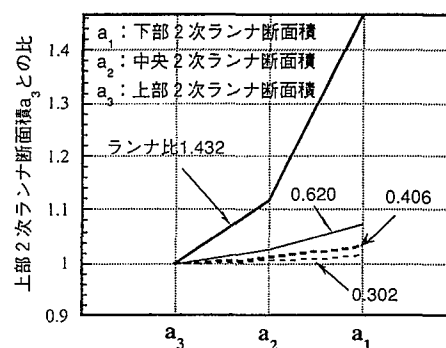


Fig.2 ベルヌイの式を利用した均一分配条件の計算例

第3章 ダイカスト・ゲート部における流れとその最適化

本章では、ゲート部の形状とゲートから製品キャビティ部への溶湯流入方向およびその流れ性状の関係について述べている。水モデル射出実験により調査した結果は以下のように要約される。

ゲートを通過する流れはゲートの形状により垂直方向、水平方向の曲がりを起こすことが確認されている。またこの垂直方向、水平方向の曲り角と流速に相関はみられない。

垂直方向の曲り角はゲート部の形状に非常に敏感であり、ランドと呼ばれるゲートの流路断面積一定部分の長さを数mm程度変化させただけで、曲りの角度は大きく変化する(Fig.3参照)。

水平方向の曲りはFig.4のようにランナが製品キャビティに対し斜めに接続されている場合に生じ、フ

ィード角(ゲート部にもうけられるテーパの角度)やゲートにおける絞りの増加にともない大きくなる。またゲート部分では流れの衝突、交差や剥離といったが減少が観察されるなど、流れの方向性やその性状が不安定である。流れ方向の不安定性は充填挙動に影響を及ぼし、製品品質のばらつきを生じる要因となり得る。この水平方向の曲りはゲート部における最大の圧力勾配の方向とランナでの流れ方向の不一致が要因と推測され、ゲート部形状をFig.5のように改良することにより流入方向制御が可能であることが確認されている(Fig.6参照)。

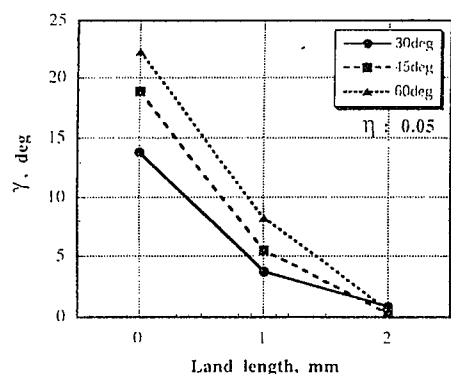


Fig.3 垂直方向の曲りとゲート形状の関係

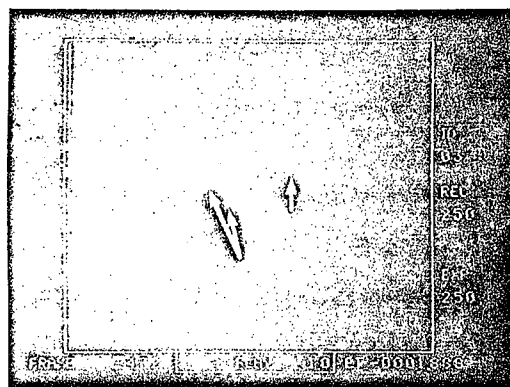


Fig.4 水平方向の曲り

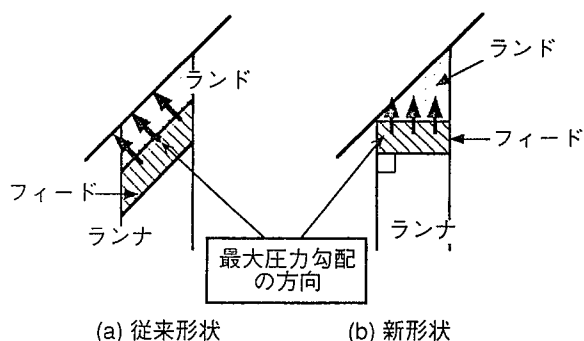


Fig.5 ゲート形状の改良

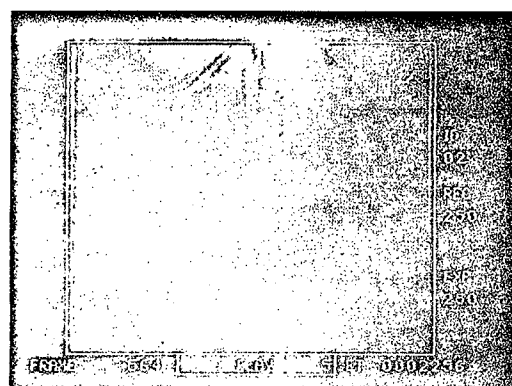


Fig.6 改良ゲートによる水モデル実験

第4章 非直交格子を用いた流れ解析法の開発

第4章、第5章では複雑形状を有する製品キャビティ内における流れ予測の精度、実用性向上を目的とした、形状近似誤差の少ない非直交格子を用いた自由表面流れの解析法の開発ならびにその検証を行っている。このうち第4章ではまず流れ場（速度場）の解析法について述べている。

本研究における流れ解析では溶融金属を非圧縮性粘性流体として扱うため、流れ場解析に用いる基礎式は連続の式ならびに運動方程式である。離散化の手法としては有限体積法を採用し、直交差分法による流れ解析法として有名なSOLA法を非直交格子に適用可能なアルゴリズムに拡張した。また検証のため2次元の流れ場解析コードを作成し、直交格子を用いた2次元流れ場解析から従来のSOLA法と同等な計算結果が得

られた。またこの2次元流れ場解析に非直交格子を適用、解析し、妥当性が確認された。

第5章 自由表面流れの解析法とダイカスト問題への適用例

第5章では第4章に引き続き、非直交格子による自由表面流れ解析に適用するための自由表面移動の解析法の考案ならびにその解析法を適用した自由表面流れ解析法の開発、2次元解析コードの作成、検証ならびにダイカスト問題への適用を行っている。

自由表面の移動を取り扱う手法としては、要素における流体の存在率 F 値を基本変数として用いるVOF法をベースとしたが、VOF法は直交差分法用に開発されたものであるため、有限体積法により非直交格子に適用可能なアルゴリズムへの拡張を行った。また1次元および2次元自由表面移動問題の解析を行い、精度ならびに安定性の検討から、非直交格子を用いた場合でも自由表面の移動を正確に解けることが確認された。

この自由表面移動解析法と4章で述べた流れ場解析法を組み合わせた自由表面流れの解析法を開発し、2次元の解析で妥当性の検討を行ったが、直交格子を用いた解析では従来法(SOLA-VOF)による計算結果および水モデル実験結果と良い一致を示した。また非直交格子を適用したアルミホイール・ダイカスト・モデルによる充填解析においても、Fig.7に示したように水モデル実験と一致した結果が得られている。

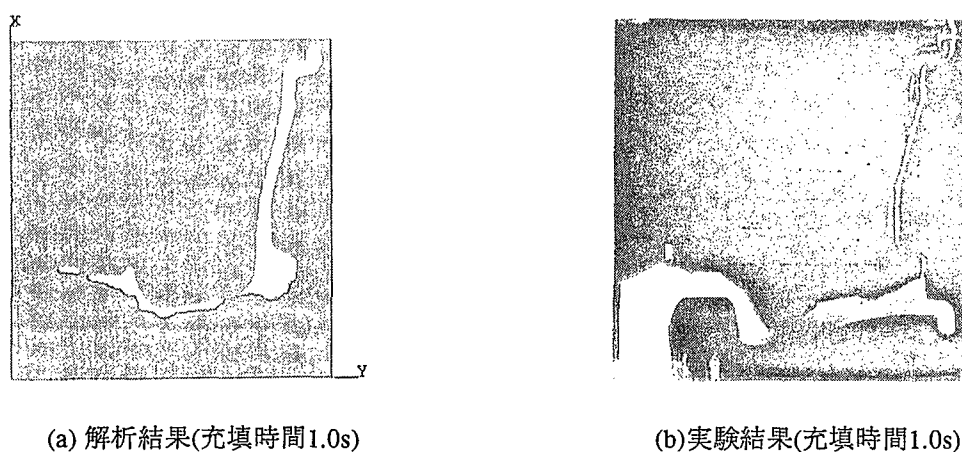


Fig.7 本解析法によるアルミホイール充填解析結果と水モデル実験結果の比較

第6章 総括

ダイカスト金型内の湯流れ最適化を目的とした湯道系設計指針の提案、ならびに流れ予測手法として主に製品部キャビティを対象とした自由表面流れ解析法の開発および検証の結果を示し総括とした。

審査結果の要旨

自動車の軽量化などに必須なダイカストの品質向上のために、従来の経験依存による型設計に代わって定量的な流れ予測にもとづく合理的な型設計技術が望まれている。このために従来流れの数値解析法が利用されているが、形状近似、自由表面の境界条件などに関して精度及び実用性の点で不十分なものであった。本研究はこの目的に適した流れ解析法を開発し、とくにランナ部、ゲート部、キャビティー部を別々に取り上げ、水モデルと比較しつつ数値解析を行い、型設計への応用例を示したものである。

第1章は序論である。第2章は多数個鑄造における均等分配を目標としてランナーから複数の型への溶融金属の流量分配について計算および水モデルで検討している。鑄造開始直後は非定常的な挙動が見られるが、ランナーの充填が終わると擬定常状態に移行し、それ以後の分配はゲート／ランナー面積比に支配される。ランナーの途中に絞りを設けることは均等分配上好ましくない。これらの結果にもとづき多数個鑄造におけるランナー設計の指針が示されている。

第3章はゲート部だけを単独に取り上げ、そこでの局部流れについて検討している。ランナーとゲートの形状関係によってはゲート部で流れ方向が曲げられること、この曲げ角度が断面積比およびランド長さに依存することを明らかにしている。また曲がりの原因が圧力勾配の方向に依存することから曲がりの生じないゲート形状を提案しその効果を確認している。

第4章では製品キャビティー内での流れに適した流れ解析法を開発している。従来直交格子に限られていた SOLA 法を非直交格子上で使える形に有限体積法を用いて拡張し、2次元コードを作成してその妥当性を確認している。

第5章では第4章に引きつづき自由表面移動を扱うためのアルゴリズムを検討し、従来の直交格子用のVOF法を非直交格子用に拡張し、2次元コードを作成して精度と安定性を確認している。つぎに第4章と第5章の方法を組みあわせ、2次元自由表面流れ問題に適用し、まず直交格子を用いた場合には従来の計算方法及び水モデルと一致することを確認している。さらに複雑形状を有し、非直交格子を必要とする実製品例としてアルミニウムホイールに応用し、本計算と水モデル実験の結果との一致を確認し、鑄造条件の最適化に利用できることを示している。

第6章は総括である。

以上要するに本研究はダイカストにおける溶融金属の流れ解析法を開発し、ランナー、ゲート、キャビティーそれぞれの型設計問題に応用し、今後の利用可能性を示したもので、材料加工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。